

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-270921

(43)Date of publication of application : 20.09.2002

(51)Int.Cl.

H01L 43/08
G01R 33/09
G11B 5/39
G11C 11/14
G11C 11/15
H01F 10/26
H01L 27/105

(21)Application number : 2001-068741

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 12.03.2001

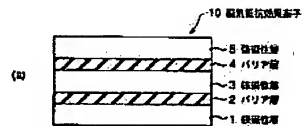
(72)Inventor : SAITO YOSHIAKI
SUNAI MASAYUKI
AMANO MINORU
NAKAJIMA KENTARO
TAKAHASHI SHIGEKI
KISHI TATSUYA

(54) MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetoresistive effect element the output signal voltage of which is high and less fluctuates and which is suitable for a large-capacity recorder and a magnetic reproducing device.

SOLUTION: The high output signal voltage is obtained by making the fluctuation of an MR ratio smaller in the surface of a wafer by constituting ferromagnetic layers 1, 3, and 5 so that the ratio of the magnetic element of the layers 1, 3, and 5 is different, or element contents of barrier layers 2 and 4 may are different from each other in a ferromagnetic double-layered tunnel junction.



特開2002-270921

(P2002-270921A)

(43)公開日 平成14年9月20日(2002.9.20)

(51)Int.Cl. ¹	識別記号	F I	F-TU-I(参考)
H01L 43/08		H01L 43/08	Z 2 G017
G01R 33/09		G11B 5/39	5 D034
G11B 5/39		G11C 11/14	A 5 E049
G11C 11/14		11/15	5 F083
11/15		H01F 10/26	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特開2001-88741(P2001-88741)	(71)出願人	00003078 株式会社エヌ
(22)出願日	平成13年3月12日(2001.3.12)		東京都港区芝罘一丁目1番1号
		(72)発明者	斉藤 好昭 神奈川県横浜市幸区小向東芝町1番地 株 会社エヌエス研究所センター内
		(72)発明者	砂井 正之 神奈川県横浜市幸区小向東芝町1番地 株 会社エヌエス研究所センター内
		(74)代理人	100058479 弁理士 鈴江 貴彦 (外6名)

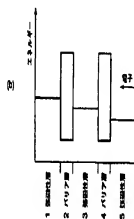
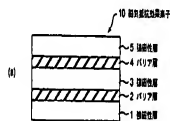
最終頁に続く

(54) 発明の名称 磁気抵抗効果素子

(57) 要約

【課題】出力信号電圧が大きく、そのばらつきも少ない大容量直読記録装置、磁気再生装置向けの磁気抵抗効果素子を提供する。

【解決手段】強磁性重二重トンネル接合において、強磁性層1、3、5の磁性元素の割合が異なる、あるいはバリア層2、4の含有元素が異なるように構成することにより、ウエハ面内のMR比のバラツキを小さくし、大きな出力信号電圧を得る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された第1のバリア層と、この第1のバリア層上に形成された第2の強磁性層と、この第2の強磁性層上に形成された第2のバリア層と、この第2のバリア層上に形成された第3の強磁性層との積層体からなり、前記第1、第2および第3の強磁性層の磁性元素の割合が異なることを特徴とした磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された第1のバリア層と、この第1のバリア層上に形成された第2の強磁性層と、この第2の強磁性層上に形成された第2のバリア層と、この第2の強磁性層上に形成された第3の強磁性層との積層体からなり、前記第1および第2のバリア層の含有元素が異なることを特徴とした磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記第1および第3の強磁性層の少なくとも一方の、前記積層体の外側に、反強磁性層が付与されていることを特徴とする請求項1および2のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記第1乃至第3の強磁性層の少なくとも1層が、第4の強磁性層と、この第4の強磁性層の上に形成された第5の強磁性層と、この第5の強磁性層の上に形成された第5の強磁性層とからなることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 複数のワード線と、この複数のワード線に交差する複数のビット線と、前記複数のワード線と複数のビット線の各交点において、前記ビット線とワード線の間に磁気抵抗効果素子と導通部素子とを有し、前記磁気抵抗効果素子が、請求項1乃至4のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子からなることを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

【請求項6】 磁気感知部に請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を有することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項7】 磁気感知部に請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を有することを特徴とする磁気再生装置。

【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】

本発明は、強磁性体とトンネルバリア層を含む磁気抵抗効果素子およびそれを用いた磁気記録素子、磁気ヘッド、磁気再生装置に関する。

【0001】

【従来の技術】強磁性体を用いた磁気抵抗効果素子は、磁気ヘッド、磁気センサー、磁気再生装置などに用いられているとともに、磁気記録素子（磁気抵抗効果メモリ）などが提案されている。これらの磁気抵抗効果素子は、外部磁場に対する感度が大きいこと、応答スピードが早いことが要求されている。

【0003】 磁気抵抗効果素子は、磁性体に磁場を印加する

(3)

特開2002-270921

2

と電場抵抗が変化する現象である。強磁性体を用いた磁気抵抗効果素子は、温度安定性に優れ、使用温度範囲が広いという特徴を有している。

【0004】また、近年、2つの磁性金属層の間に一層の誘電体を挿入したサンドウィッチ構造において、面に垂直に電流を流し、トンネル効果を用いた磁気抵抗効果素子（TMR, Tunneling Magneto-resistance）、いわゆる強磁性トンネル接合素子が見出されている。強磁性トンネル接合は、20%以上の磁気抵抗変化率（MR比）が得られるようになってきたことから（Appl. Phys. 79, 4724(1996)参照）、磁気ヘッドや磁気抵抗効果メモリへの応用の可能性が高まってきた。この強磁性トンネル接合は、厚み0.4nmから2.0nm厚のA1層を強磁性層の上に成長した後、表面を酸処理または酸素グロー放電、または熱酸化処理によって、A1O₂からなるトンネルバリア層を形成している。この強磁性トンネル接合素子（強磁性トンネル接合）では、所望の出力電圧を得るために強磁性トンネル接合素子に印加する電圧値を増やすとMR比がかなり減少するという問題があった（Phys. Rev. Lett. 74, 3273(1995)参照）。

【0005】また、上記強磁性トンネル接合の片一方の強磁性層に反強磁性層を付与し、片方を磁化層層とした構造を有する強磁性トンネル接合が提案されている（特開平10-4227参照）。しかし、この強磁性トンネル接合素子（強磁性トンネル接合）でも、所望の出力電圧を得るために強磁性トンネル接合素子に印加する電圧値を増やすとMR比がかなり減少するという問題が同様に存在する。

【0006】また、誘電体中に分散した磁性粒子を介した強磁性トンネル接合、あるいは、強磁性二重トンネル接合が提案されている（特開平9-280743、Phys. Rev. B56(10), R3747(1997)、応用磁気学会誌23, 4-2, (1999)、Appl. Phys. Lett. 73(19), 2839(1998)参照）。これらにおいても、20%以上のMR比が得られるようにするため、磁気ヘッドや磁気抵抗効果メモリへの応用の可能性が生じてきた。

【0007】これら強磁性二重トンネル接合では、強磁性トンネル接合に比べて、バイアス電圧にともなうMR比の低下が少ないため、大きな出力が得られるという特徴を有している。しかし、固体磁気メモリ（例えばMRAM）やハードディスク装置（HDD）に上記の強磁性二重トンネル接合を使用する場合には、その容量が大容量になると（例えばMRAMでは256Mbit以上）、使用バイアス電圧において更なる大きなMR比が必要となる。

【0008】また、非対称電流-電圧特性を持つ強磁性トンネル接合において、MR比のバイアス依存性が小さい極性の電圧で使用する、MR比の減少を少なくする

【0003】 磁気抵抗効果素子は、磁性体に磁場を印加する

方法および強磁性トンネル接合構造が提案されている

(特開平2000-251230参照)。
 【0008】その方法としては、(1)絶縁型(トンネルバリア)内の載置分布を制御する方法および構造、(2)絶縁(トンネルバリア)層の成膜時の組成分布を制御する方法および構造、(3)A1を酸化しバリア作製時にA1を酸化しバリア上の界面状態を改善する方法および構造、(4)上ら強磁性層/バリア層/強磁性層の3層構造において、MR比のバイス依存性のピークが正バイス電圧側にあるものと負バイス電圧側にあるものとを直列(二重結合型)または並列接続する方法および構造が提案されている(特開平2000-251230参照)。
 【0010】しかし、これらのトンネルバリア層の構造、フェルミによる界面状態の制御法を用いると、プロセス時の温度履歴等によりウェル一画内のバイス依存性がばらつき、いつもの素子で一つの機能を提供するデバイスには問題が生ずる可能性がある。
 【0011】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、強磁性1番トンネル接合においては、希望の出力電圧を得るため強磁性トンネル接合素子に印加する電圧値を増やすと強磁気抵抗変化率(MR比)がかなり減少するという問題が存在する。強磁性層/強磁性層/強磁性層/強磁性層を基本構造とした強磁性2重トンネル接合においては、印加電圧値の増加に伴いMR比の減少は小さいが、DRAM等の大容量メモリを代替しようとする、もっと大きな信号電圧を要するトンネル接合として、特開平2000-251230に倣う方法および構造が開示されているが、その中でも大きな信号電圧が得られると考えられる構造(前述の(4))においても、256Mbit以上のMRAM作製には、信号電圧が不足する。その上、この方法で作製したトンネル接合では、プロセス中の熱工程においてMR比のバイス依存性分布のバラつきが生じてしまい、その結果出力電圧値のバラつきが大きくなる。このため、MRAMなどのいくつかの素子で一つのバイスを構成する素子の場合、素子間のバラつきが大きく、動作しなくなってしまうという問題が生じた。

【0013】図17は、256Mbit MRAM (1T1R-1MTJ (Magnetic Tunnel Junction) アーキテクチャ)において、MTJ (TMR Tunneling Magnetoresistance) の抵抗値のばらつき ($\Delta R_{up}/R_{up}$) が5%の場合と10%の場合の強磁気抵抗効果素子に課せられる出力信号電圧(縦軸)、抵抗率(横軸)の規格の1例を示し、斜線部が許容範囲である。

【0014】この計算では、1CMOS-1MTJアーキテクチャを仮定し、斜線部で表される設計ルールF=0.175 μ m、センスアンプ増幅率の信号電圧V₀、(MR×V₀)²、但しMRは、V₀使用時の素

子に印加されるバイス電圧) = 50mV、標準的なCMOSの抵抗値 $r_{gate} = 10k\Omega$ 、 r_{gate} のバラつき=10%、およびビット容量C=320fF、素子に印加されるバイス電圧の値=800mV、アクセス時間T_{acc}=40nsecを仮定している。

【0015】図17を見れば明らかであるが、800mVのバイスが印加された時の信号電圧の規格は、MTJ抵抗値のバラつきが5%に抑えられた場合と10%の場合と大きく異なる。従って、トンネルバリア層の組成分布を変化させて大きな信号電圧を得る前述の従来技術の方法では、せっかくMTJ単体の出力電圧が上がってもバラつきが増大してしまうため、大容量MRAMは実現できない。また、256Mbit MRAMでは少なくとも170mV以上の信号出力、好ましくは200~300mVの信号出力が必要となる。

【0016】本発明は、これら問題を解決するためになされたものであり、256Mbit以上のMRAM、大容量ハードディスク装置(HDD)用の大きな信号電圧を発生する強磁気抵抗効果素子を提供することを課題としている。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記の問題を解決するために、本発明の第1の強磁気抵抗効果素子は、第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された第1のバリア層と、この第1のバリア層上に形成された第2の強磁性層と、この第2の強磁性層上に形成された第2のバリア層と、この第2のバリア層上に形成された第3の強磁性層の3層構造からなり、前記第1、第2および第3の強磁性層の磁性元素の割合が異なることを特徴としている。

【0018】上記のように第1、第2、第3の強磁性層の磁性元素の割合を異なることにより、電子の注入方向におけるバリア層のエネルギー障壁を高くすることができ、"1"状態のMRを大きくすることができる。これにより、MR比を大きくすることができる。

【0019】また、本発明の第2の強磁気抵抗効果素子は、第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された第1のバリア層と、この第1のバリア層上に形成された第2の強磁性層と、この第2の強磁性層上に形成された第2のバリア層と、この第2のバリア層上に形成された第3の強磁性層との3層構造からなり、前記第1および第2のバリア層の含有元素が異なることを特徴としている。

【0020】上記の構成によってもMR比を高くすることができる。これは、第1と第2のバリア層のエネルギー障壁の高さを変え、出力信号(TMRの"1"状態と"0"状態の差電圧)とTMRへのバイス電圧との間の特性カーブの非線形性に基づいて、"1"状態のMRが高くなることによると考えられる。第1および第2のバ

リア層は、金属の酸化膜、または酸化膜からなり、夫々の中では、酸素濃度分布、組成の分布が均一であることが好ましい。バリア層中の酸素、窒素分布の均一化は、300℃以上でアニールを行うと酸素または窒素のバリア層中での拡散—再結合が生じるので、容易に実現できる。バリア層中の他の元素の組成も均一であることが好ましい。この均一化も、単金属または合金の状態で膜を付けた後、300℃以上でアニールを行うことで容易に作製できる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0023】第1の実施形態 第1の実施形態では、本発明の第1の基本的形態を説明する。図1(a)は、本発明の第1の実施形態に係る強磁気抵抗効果素子の断面構造を示す断面図、図1(b)はそのエネルギーバンド図である。図1(a)に示すように、第1の実施形態の強磁気抵抗効果素子は、強磁性層1(第1の強磁性層)上にバリア層2(第1のバリア層)を介して、強磁性層1と異なる磁性元素を含む強磁性層3(第2の強磁性層)上にバリア層2(第1のバリア層)を介して、強磁性層1と異なる磁性元素を含む強磁性層3(第2の強磁性層)を介して、さらにこの上にバリア層4(第2のバリア層)を介して、強磁性層15(第3の強磁性層)を備える。強磁気抵抗効果素子20は形成されている。

【0024】第1の実施形態の強磁気抵抗効果素子は、強磁性層1/バリア層2/強磁性層3/バリア層4/強磁性層5からなる強磁性2重トンネル接合素子であり、強磁性層1、3、5の磁性元素の割合を変えることにより、図1(b)に示すように、強磁性層のフェルミレベルのエネルギー位置を変えることができる。

【0025】このような状態は、例えば強磁性層にCo-Fe合金、Co-Ni合金、Ni-Fe合金、Co-Fe-Ni合金を用いた場合、強磁性層1、3、5を順番に成膜する際、例えばNi元素の割合(atomic%)を強磁性層1、3、5母に変えることで容易に実現することができる。

【0026】上記構造において、バリア層2、4は、A1、Mg等の元素の酸化膜、または酸化膜からなり、夫々の中では、酸素濃度分布、組成の分布が均一であることが好ましい。バリア層中の酸素、窒素分布の均一化は、300℃以上でアニールを行うと酸素または窒素のバリア層中での拡散—再結合が生じるので、容易に実現できる。

【0027】バリア層中の他の元素の組成も均一であることが好ましい。この均一化も、単金属または合金の状態で膜を付けた後、300℃以上でアニールを行うことで容易に作製できる。

【0028】また、強磁性層1、3、5は、構成元素の濃度分布が均一となるように合金ターゲットを用いると同時にバリア層の方法で形成されており、形成後ニ

ルを行っても特性がばらつかない。このため、均一な特性で大きなMR値を得ることができるとともに、従来最大の信号電圧が得られると考えられていたMR比のバイス依存性のピークが正バイス電圧側にあるものと負バイス電圧側にあるものとを直列接続した二重結合構造、または二重結合型を付けた強磁性2重トンネル接合構造より大きな信号電圧を、図1(b)に矢印で示した電圧が注入する方向において得ることができる。これは、この方向から電子が注入した場合、実効的なバリア高さが低くなることに起因していると考えられる。

【0029】(第2の実施形態) 第2の実施形態では、本発明の第2の基本的形態を説明する。図2(a)は、本発明の第2の実施形態に係る強磁気抵抗効果素子の断面構造を示す断面図、図2(b)はそのエネルギーバンド図である。図2(a)に示すように、第2の実施形態の強磁気抵抗効果素子は、強磁性層1(第1の強磁性層)上にバリア層2(第1のバリア層)を介して、強磁性層13(第2の強磁性層)を備える。さらにこの上にバリア層11とは異なる磁性元素を含むバリア層14(第2のバリア層)を介して、強磁性層15(第3の強磁性層)を備える。強磁気抵抗効果素子20は形成されている。

【0030】第2の実施形態の強磁気抵抗効果素子も、強磁性層11/バリア層12/強磁性層13/バリア層14/強磁性層15からなる強磁性2重トンネル接合素子であるが、バリア層12、14の含有元素を変えることにより、バリア層12、14のエネルギー障壁の高さを変えることができる。このような状態は、例えばバリア層12、14を作製時、酸化または窒化時に成膜する金属元素Mを入れるか、バリア層12を酸化(M-O)し、バリア層14を窒化(M-N)する、またはバリア層12を酸化(M-O)し、バリア層14を酸素と酸素の混合バリア(M-N-O)とする等により容易に実現できる。

【0031】また、バリア層12、14の中では、元素の濃度分布が均一であることが好ましい。バリア層中における均等であり、O、Nの分布が不均一であると、MR比のバイス依存性が減少し、信号電圧が低下する。これらを均一にするためには、酸化、または、窒化時に多少酸素バリア層14または窒化しから300℃以上でアニールをすることが好ましい。上記のプロセスを入れると、バリア層中の酸素または窒素濃度分布、元素分布が均一になるため、バラツキの範囲が狭くなり、均一な特性で大きなMR値を得ることができる。

【0032】第2の実施形態によれば、従来最大の信号電圧が得られると考えられていたMR比のバイス依存性のピークが正バイス電圧側にあるものと負バイス電圧側にあるものとを直列接続する二重結合構造より大きな信号電圧を得ることができる。これは、バリアの障壁高さが異なること、素子への印加電圧と出力電

20

50

号電圧との関係における非線形性に起因していると考えられる。

【0033】(第3の実施形態)図3は、本発明の第3の実施形態に係る磁気抵抗効果素子30の構造を示す断面図である。第3の実施形態は、第1の実施形態の構造に対し、反磁性層6、7を上下面付与した、いわゆるスピンプラズ型にしたものである。第1の実施形態と同一箇所には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0034】図3に示す反磁性層6/強磁性層1/バリア層2/強磁性層3/バリア層4/強磁性層5/反磁性層7からなる層構造を、 $1r\text{-Mn}/\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{Ni}_m/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{Ni}_m/\text{AlO}_x$ の材料構成により作製した。上記層構造において、バリア層2、4は、金属Alを成膜後プラズマ処理を行って作製した。前述のように、酸素濃度分布を均一にするため320℃で1時間のアニールを行った。この材料と作製した。

【0035】また、比較のため、従来技術のうち一番大きな信号電圧が得られる、MR比のバリス放散性のピークが正バイアス電圧側にあるものと負バイアス電圧側にあるものとを直列接続した二重接合型構造による試料B、Cを以下のように作製した。

B) $1r\text{-Mn}/\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/1r\text{-Mn}/\text{AlO}_x$ (AlO_xのバリアの酸素濃度分布を均一化したもの)。

C) $1r\text{-Mn}/\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{AlO}_x/\text{AlN}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{AlN}_x/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/1r\text{-Mn}$ (バリアを2層にスピンプラズ型(酸化窒素)側のバリア層を高くしたもの)。

【0036】また標準試料として、次の試料Dを作製した。

D) $1r\text{-Mn}/\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/1r\text{-Mn}$ (AlO_xのバリアの酸素濃度分布を均一にして、Al、O、Cに近くなるように最適な組成条件を付けたもの)。

【0037】比較例の構造で用いた強磁性層は、全てMR比が大きい特性が得られる $\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}$ を使用している。バリア層、強磁性層の組成条件は、A、B、C、Dとも同じにして比較を行った。微細加工は通常のフォトリソグラフィとイオンミリングを用い、 $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ のTMR素子を作製した。

【0038】図4に上記のA1、B、C、D各試料のバイアス電圧—出力電圧特性を示す。比較試料B、C、標準試料Dでは、MR比が大きい特性が得られる $\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}$ を用いても、得られる最大信号出力は本発明の試料A1に比べて小さい。本発明の構造においては、正電圧側で最大大きな信号出力が得られ、本発明の構造が大容量MRAM等に有効であることが分かった。また、面内のバライキも小さく、比較試料C、Dでは、

0.0mVで測定時のMR比のバライキが $\pm 12.5\%$ 、 $\pm 10.7\%$ であった。これに対して、本実施形態の試料A1ではバライキが $\pm 3.9\%$ と良好であることが分かった。

【0039】(第4の実施形態)図5は、本発明の第4の実施形態に係る磁気抵抗効果素子40の構造を示す断面図である。第4の実施形態は、第2の実施形態の構造に対し、反磁性層16、17を上下面に付与した、いわゆるスピンプラズ型にしたものである。第2の実施形態と同一箇所には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0040】図5に示す反磁性層16/強磁性層11/バリア層12/強磁性層13/バリア層14/強磁性層15/反磁性層17の構造を、2つの試料A2、A3を構成した。

A2) $1r\text{-Mn}/\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{GaO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/1r\text{-Mn}$

A3) $1r\text{-Mn}/\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{AlO}_x/\text{AlO}_x/\text{N}/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{Ni}_m/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/1r\text{-Mn}$

【0041】上記層構造において、バリア層12、14は、金属Alを成膜後プラズマ処理、または酸素と酸素ガスを導入したプラズマ処理を発生させることによりAlO_x、Nを作製した。作製後、前述のようにバリア層中の濃度分布を均一にするため320℃で1時間のアニールを行った。微細加工は通常のフォトリソグラフィとイオンミリングを用い、 $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ のTMR素子を作製した。

【0042】また、比較のため、従来技術のうち一番大きな信号電圧が得られる、MR比のバリス放散性のピークが正バイアス電圧側にあるものと負バイアス電圧側にあるものとを直列接続した二重接合型構造による試料Eを次の構成で作成した。

E) $1r\text{-Mn}/\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{AlO}_x/\text{AlN}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{Ni}_m/\text{AlN}_x/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/1r\text{-Mn}$ (AlNを2層にスピンプラズ型を高くしたもの)。

【0043】また標準試料Fとして、 $1r\text{-Mn}/\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/\text{Ni}_m/\text{AlO}_x/(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_n/1r\text{-Mn}$ (AlO_xのバリアの酸素濃度分布を均一にして、Al、O、Cに近くなるように最適な組成条件を付けたもの)を作製した。

【0044】各バリア層、強磁性層の組成は試料A2、A3、E、Fとも同じにして比較を行った。図6に試料A2、A3、E、Fのバイアス電圧—出力電圧特性を示す。比較試料E、標準試料Fでは、MR比が大きい特性が得られる $\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}$ を用いても、得られる最大信号出力は本発明の試料A2、A3に比べて信号出力が小さい。本実施形態の試料A2、A3において、正電圧側で最大大きな信号出力が得られ、大容量MRAM等に有効であることが分かった。また、面内のバライキも小さく、比較試料Eでは、

4.00mVで測定時のMR比のバライキが $\pm 11.5\%$ あった。これに対して、本実施形態の試料A2、A3ではバライキが $\pm 4.2\%$ と良好であることが分かった。

【0045】(第5の実施形態)第1の実施形態において、強磁性層1、5の少なくとも一方を、反磁性層結合記録層とすることができる。第5の実施形態はそのような例であり、図7(a)に第5の実施形態の磁気抵抗効果素子50の断面構造を示す。図7(a)においては、図1の強磁性層1の部分(強磁性層1-1/非磁性層8a/強磁性層1-2)の三層構造となっており、非磁性層8aを介して反磁性層結合をしている、いわゆる反磁性層結合層となっている。また、図7(b)は、図7(a)の変形例として、図1の強磁性層5の部分をも反磁性層結合記録層とした磁気抵抗効果素子50'の例である。なお、第1の実施形態と同一部分には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0046】上記の三層構造をセンサ(磁化頭等)として用いることにより、より強固な磁場のスピンを固定することとができる。また、ピン層(1、5)からの磁場(3)への漏れ磁場が小さくなるため、R(抵抗)−H(磁場)曲線をゼロ磁場をセンターに設計することとができる。また、同様のサイズ込みでピン層の一部の磁気モーメントが回転してしまい出力が徐々に低下してしまうという問題は完全に無くなる。

【0047】この場合、本発明の効果を有効に発現させるためには、(強磁性層1-1/非磁性層8a/強磁性層1-2)/バリア層2/強磁性層3/バリア層4/(強磁性層5-1/非磁性層8b/強磁性層5-2)において、バリア層2に用いる強磁性層の元素を、強磁性層3、強磁性層5-1の磁性元素含有量の割合を変えればよく、強磁性層1-1、強磁性層5-2に制限はない。

【0048】(第6の実施形態)第2の実施形態に対しては、強磁性層1、15の少なくとも一方を、反磁性層結合記録層とすることができる。断面構造は第5の実施形態と同様となるので、図7を使用することとし、参照番号を括弧の中に記した。

【0049】この場合、(強磁性層1-1/非磁性層18a/強磁性層1-2)/バリア層12/強磁性層13/バリア層14/(強磁性層15-1/非磁性層18b/強磁性層15-2)構造において、バリア層12、14の含有元素を変えればよく、強磁性層1-2、強磁性層13、強磁性層15-1、強磁性層15-2に特に制限はない。

【0050】(第7の実施形態)第3および第4の実施形態に対しては、強磁性層1、5の少なくとも一方あるいは1、15の少なくとも一方を、反磁性層結合記録層とすることができる。第7の実施形態はそのような例であり、図8(a)に第7の実施形態の磁気抵抗効果素子50'の断面構造を示す。図8(a)においては、図4の強磁性層11の部分(強磁性層11-1/非磁性層8a/強磁性層11-2)の三層構造となっている。図8

(b)は図4の強磁性層5の部分も反磁性層結合記録層とした例である。なお、第3の実施形態と同一部分には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0051】第4の実施形態(図5)に対しても、同様に反磁性層結合層を適用することができる。断面構造は図8と同様となるので、図8を参照することとし、参照番号を括弧の中に記載してある。

【0052】第7の実施形態では、第5、第6の実施形態と同様な効果が得られる上に、反磁性層6、7(16、17)の厚率を高くでき、加工精度が上昇すること等のメリットがあり、スライチング 磁場のバライキが減少する。

【0053】(第8の実施形態)第1乃至第7の実施形態において、中央部の強磁性層3(13)も強磁性層/非磁性層/強磁性層の三層構造とすることが好ましい。第8の実施形態ではこのような例であり、図9に断面構造を示す。図9(a)は第1又は第2の実施形態(図1または図2)に上記の3層構造を適用した例と代表として示すが、第3又は第4の実施形態にも適用することとできる。図9(b)は第3または第4の実施形態に適用した例である。なお、図1乃至図4と同一部分には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0054】図9においては、図1の強磁性層3の部分(強磁性層3-1/非磁性層8c/強磁性層3-2)の三層構造としている。この場合、強磁性層3-1と強磁性層3-2に弱い反磁性層結合がなるとことが好ましい。強磁性層/非磁性層/強磁性層の三層構造は、第5乃至第7の実施形態では反磁性層結合とされているが、強磁性層、非磁性層の材料、厚率等を適切に選択することにより、本実施形態のように反磁性層結合とすることもできる。

【0055】また、強磁性層3-1と強磁性層3-2の組成は、エネルギーレベルを同一にするために、実質的に同一の組成とすることが望ましい。

【0056】本実施形態の構造を磁気記録層に用いると、スライチング磁場のメモリ保持性が小さくなる。即ち、セル幅が小さくてもスライチング磁場の増大が小さい。そのため、MRAMを大容量化してTMRのセル幅が小さくても、消費電力の大幅、書き込みの記録のイレートロマイグレーションの心配が無く、大容量MRAMを構成できる。強磁性層の組成は弱い方が好ましく、弱いほどスライチング磁場は小さくなる。また、弱い強磁性層結合を有する三層以上の強磁性層/非磁性層/強磁性層/非磁性層の三層構造を用いてもスライチング磁場は増大しない。また、この構造を用いると、強磁性層単層の厚に比べて超導性になる厚層の層が厚い層が傾斜まで伸びることができ、熱安定性の面でも好ましい傾向を示す。

【0057】上記の第1乃至第8の実施形態を通じて、磁気材料、バリア層材料等は下記のように選択することとができる。

【0058】本発明の強磁性層の元素、種類は、特に制限はなく、Fe、Co、Niまたはそれら合金、スピリン分率の大きいマグネタイト、CrO₂、RXMnO₂（R：希土類、X：Ca、Ba、Sr）などの酸化物、他NiMnSb、PbMnSb、等のホイスラー合金、Zn-Mn-O、Ti-Mn-O、CdMn₂P、ZnMn₂P、などの磁性半導体を用いることができる。

【0059】本発明の強磁性層の厚さは強磁性にならないう程度の厚さが必要であり、0.4nm以上であることが好ましい。また、あまり厚いとスライディング磁場、磁れ磁場が大きくなってしまうため、3.0nm以下で有ることが好ましい。また、これらの磁性体にはAg、Cu、Au、Al、Mg、Si、Bi、Ta、B、C、O、N、Pd、Pt、Zr、Ir、W、Mo、Nbなどの非磁性元素が多少含まれていても強磁性を失わない限り良い。

【0060】反強磁性層は、Fe-Mn、Pt-Mn、Pt-Cr-Mn、Ni-Mn、Ir-Mn、NiO等が使用できる。非磁性層としては、Cu、Au、Ru、Ir、Rh、Agなどを用いることができる。反強磁性結合として用いる場合（ピン層の場合）は、Ru、Ir、Rhが好ましい。強磁性結合として用いる場合（記録層の場合）は、Cu、Au、Agが好ましいが、厚膜等により調整可能なで、これらに限られるものではない。

【0061】本発明の絶縁体または、絶縁層としては、Al₂O₃、SiO₂、MgO、AlN、AlON、Ga₂O₃、Bi₂O₃、SrTiO₃、AlLaO₃などの様々な絶縁体を使用することができる。これらは、多少の酸素、窒素欠損が存在しても構わない。

【0062】絶縁層の厚さはTMRの複合面積に依存し、3nm以下であることが好ましい。基板は特に制限はなく、Si、SiO₂、Al₂O₃、AlN等各種基板の上に作製できる。その上、下地層、保護層として、Ta、Ti、Pt、Pd、Au等の単層膜、Ti/Pt、Ta/Pt、Ti/Pd、Ta/Pd等の積層膜を用いることが好ましい。

【0063】このように強磁性層は、各種スパッタ法、蒸着法、分子線エピタキシャル法などの通常の薄膜形成装置を用いて作製することができる。

【0064】上記の強磁性トンネル接合は、磁気記録素、磁気記憶装置ヘッド、磁気再生装置等に適用することができる。以下、本発明の磁気記憶装置素子の応用例の実施形態を説明する。

【0065】（第9の実施形態）第9の実施例では、本発明の磁気記憶装置素子は磁気記録装置（MRAM）に適用した例を説明する。図10はMRAMの模式的な回路図。図1は個別の記録素子の構成を説明するための断面図である。

【0066】MRAMは、図10に示すように、ローデ

コダ140で制御される複数の読み出しワード線W1（122）と、カラムデジ150で制御され、ワード線122と交差する複数のビット線B1（134）を備える。ワード線122とビット線134の各交点には、本発明の磁気記憶装置素子（例えば第1の実施形態の10、第2乃至第8の実施形態の20、30、40、50、60、70、80、90等を用いてよい）と、ワード線122よりその導通が制御されるスイッチ（導通制御素子）としてのMOSFET120を備える。また、読み出しワード線122と平行方向に、磁気抵抗素子10に接続して延在する書き込みワード線W1

2（131）を備える。

【0067】各メモリ素子は図10のように構成されている。半導体基板上のMOSFET120を形成する。123、124がソース・ドレイン領域であり、ゲート電圧122が印加して形成され、ワード線W1（122）となる。ソース・ドレイン領域の一方124に接続したコンタクト132を介して、下地配線133が形成されており、この下地配線133とビット線134の間に本発明の磁性記憶装置素子10を形成する。磁気記憶装置素子10に接続して書き込み用のワード線W12（131）を形成する。

【0068】上記のMRAMでは、MR比の大きい本発明の磁気記憶装置素子を使用しているので、256Mbit以上の大容量になっても、安定した動作が可能になる。

【0069】（第10の実施形態）第10の実施例も、本発明の磁気記憶装置素子は磁気記録装置に適用した例であるが、導通制御素子にダイオードを使用した例である。図12は磁気記録装置の模式的な回路図。図13は個別の記録素子の構成を説明するための断面図である。

【0070】図10示しないローデに接続された複数のワード線223と、図10示しないカラムデジに接続された複数のビット線227の各交点において、本発明の磁気記憶装置素子10（或いは20、30、40、50、60、70、80、90）とダイオード222の直列体が、ビット線227とワード線223の間に接続されている。

【0071】各メモリ素子としての磁気記憶装置素子とダイオードは、図13に示すように、例えばワード線223とダイオード222を形成し、その上に磁気記憶装置素子10を直列形成し、さらにその上にビット線227を形成することにより構成される。

【0072】或いは、図14に示すように、通常のICプロセスに適合させた方法で形成することもできる。即ち、半導体基板221上の素子分離絶縁膜221aで分離された領域に、p型領域222とn型領域222aからなるダイオード222を形成する。n型領域222aにはコンタクト228を介してワード線223を接続する。p型領域222bにはコンタクト229を介して

下地配線226が形成され、この下地配線226とビット線227の間に本発明の磁気記憶装置素子10を形成する。なお、230は電荷保持領域である。また、図14に示すように、SOI基板を用いることがより好ましい。

【0073】上記のように構成しても、第9の実施形態と同様に、動作の安定した磁気記憶装置を実現することができる。

【0074】（第11の実施形態）第11の実施例は、本発明の磁気記憶装置素子を磁気ヘッドに応用したものを説明する。

【0075】図15は、本発明の磁気記憶装置素子10を搭載した磁気ヘッドアセンブリの斜視図である。アクチュエータアーム301は、磁気ディスク装置内の固定軸に固定されるための穴が設けられ、図示しない駆動コイルを保持するボビン部等を有する。アクチュエータアーム301の一端はサスペンション302が固定されている。サスペンション302の先端には信号の書き込み、および読み取り用のリード線304が接続されている。このリード線304の一端はヘッドスライダ303に組み込まれた磁気記憶装置素子10の各電極に接続され、リード線304の他端は磁気ヘッド305に接続されている。なお、磁気記憶装置素子10は第1の実施形態の素子であるが、第2乃至第8の実施形態の磁気記憶装置素子20、30、40、50、60、70、80、90等であってもよい。

【0076】図16は、図15に示す磁気ヘッドアセンブリを搭載した磁気ディスク装置（磁気再生装置）の内部構造を示す斜視図である。磁気ディスク311はインダクタ312に装架され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより回転する。

【0077】アクチュエータアーム301は固定軸313に固定され、サスペンション302およびその先端のヘッドスライダ303を支持している。磁気ディスク311は回転軸と、ヘッドスライダ303の端面と向面は磁気ディスク311の表面から所定距離上した状態で保持され、情報の記録再生を行う。

【0078】アクチュエータアーム301の基端にはリニアモータの一軸であるボイスコイルモータ314が設けられている。ボイスコイルモータ314はアクチュエータアーム301のボビン部に巻き上げられ図示しない駆動コイルとこのコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成されている。

【0079】アクチュエータアーム301は、固定軸313の上下2箇所に取り付けられ図示しないボールベアリングによって支持され、ボイスコイルモータ314により回転運動が自在にできるようになっている。

【0080】上記のように本発明の磁気記憶装置素子を

使用した磁気ヘッドあるいは磁気再生装置は、磁気記憶装置素子より高出力信号が得られるので、安定した動作と大容量化が可能になる。

【0081】
【発明の効果】本発明の構造を用いれば、熱処理に伴うMR比、抵抗値のばらつきが小さく、磁気記憶装置素子の更なる高出力化が可能となり、大容量の固体磁気メモリあるいは磁気再生装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る磁気記憶装置素子（a）断面図と（b）各層のエネルギーレベルを示した図。

【図2】本発明の第2の実施形態に係る磁気記憶装置素子（a）断面図と（b）各層のエネルギーレベルを示した図。

【図3】本発明の第3の実施形態に係る磁気記憶装置素子の断面図。

【図4】第3の実施形態の磁気記憶装置素子におけるバイアス電圧と出力信号電圧の関係を示す特性図。

【図5】本発明の第4の実施形態に係る磁気記憶装置素子の断面図。

【図6】第4の実施形態の磁気記憶装置素子におけるバイアス電圧と出力信号電圧の関係を示す特性図。

【図7】本発明の第5（或いは第6）の実施形態に係る磁気記憶装置素子の断面図。

【図8】本発明の第7の実施形態に係る磁気記憶装置素子の断面図。

【図9】本発明の第8の実施形態に係る磁気記憶装置素子の断面図。

【図10】本発明の第9の実施形態に係る磁気記憶装置素子の断面図。

【図11】第9の実施形態の磁気記憶装置素子の構成を示す断面図。

【図12】本発明の第10の実施形態に係る磁気記憶装置素子の断面図。

【図13】第10の実施形態の磁気記憶装置素子の1層構成を示す斜視図。

【図14】第10の実施形態の磁気記憶装置素子の他の構成を示す断面図。

【図15】本発明の第11の実施形態に係る磁気記憶装置素子の斜視図。

【図16】第11の実施形態の磁気記憶装置素子が使用された磁気再生装置の斜視図。

【図17】256Mbit MRAMを想定した場合の抵抗値と出力信号電圧の特性図。

【符号の説明】

1、3、5、11、13、15、1-1、1-2、11-1、11-2、3-1、3-3、13-1、13-3、5-1、5-2、15-1、15-2、…強磁性層
2、4、12、14…バリア層

6, 7, 18, 17---反強磁性層

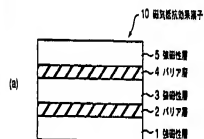
*, 70, 70', 80, 80', 90, 90'---磁気

8a, 8b, 8c, 18a, 18b, 18c---非磁性層

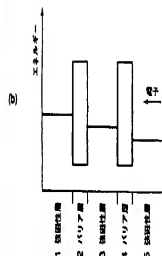
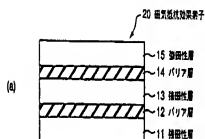
抵抗効果素子

10, 20, 30, 40, 50, 50', 60, 60 *

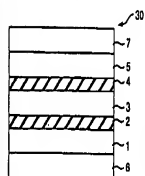
【図1】



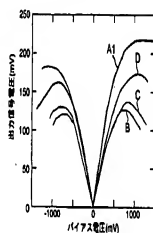
【図2】



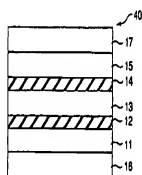
【図3】



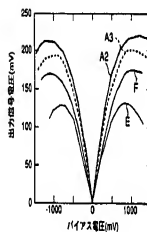
【図4】



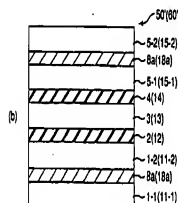
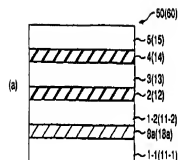
【図5】



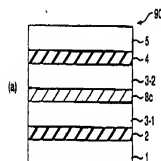
【図6】



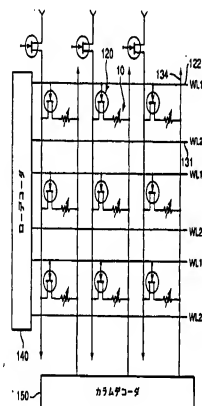
【図7】



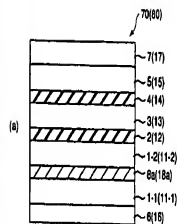
【図9】



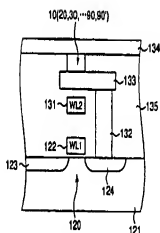
【図10】



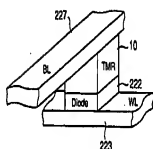
【図8】



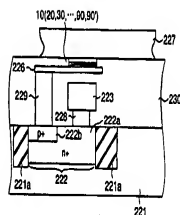
【図11】



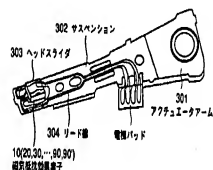
【図13】



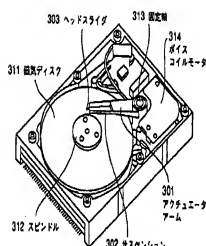
【図14】



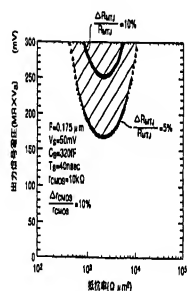
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	キーワード (参考)
H 01 F 10/26		G 01 R 33/06	R
H 01 L 27/205		H 01 L 27/20	4 4 7
(72)発明者 天野 実		(72)発明者 岸 達也	
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株 式会社東芝研究開発センター内		神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株 式会社東芝研究開発センター内	
(72)発明者 中島 健太郎		Fターム(参考) 2C017 A001 A807 A055 A065	
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株 式会社東芝研究開発センター内		S0034 B003 B015 B802 C000 D007	
(72)発明者 高橋 茂樹		S0049 B012 D002 D012 G001	
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株 式会社東芝研究開発センター内		SF083 F210 K001 L004 L005 L016	
		M006 M016 M019	